نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۴۷-۶۸
http://ejsms.gau.ac.ir

احیا و بازسازی منابع اطلاعاتی موروثی خاک (مطالعه موردی: مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک بخش‌هایی از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری)

***زهرا رسائی[۱]، جهانگرد محمدی[۲]، عبدالمحمد محنت‌کش[۳] و شاهرخ فاتحی[۴]**

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، [۲]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، [۳]استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران، [۴]استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

چکیده

سابقه و هدف: خاک نقش مهمی در مسائل محیط زیستی و برنامه‌های مدیریت و توسعه پایدار دارد. از این‌رو نیاز رو به افزایشی به تهیه نقشه‌های خاک با قابلیت اعتماد و صحت بالا ایجاد شده است. با توجه به محدودیت‌های منابع، داده‌های موجود موروثی خاک‌ها به‌عنوان تنها منبع عظیم و در دسترس خاک‌ها توجه زیادی کسب کرده‌اند. این داده‌ها که حامل اطلاعات مهم در مورد حالت و ویژگی‌های خاک در طول زمان و مکان هستند، می‌توانند یک چشم‌انداز در راستای مدیریت بهتر منابع ایجاد کنند. با توجه به وابستگی مدیریت بهتر خاک به این اطلاعات موروثی و همچنین اهمیت استفاده از آن‌ها در مدیریت محیط زیست، باید تلاش‌های جدی برای حفظ و استفاده مجدد از این داده‌های قدیمی خاک صورت بگیرد. بدیهی است که برای استفاده از آن‌ها پیش‌پردازش‌هایی نیاز می‌باشد که رهانیدن یا تلاش برای محافظت داده‌های موروثی و بازسازی که طی آن اطلاعات موجود از خطر نابودی حفظ شده و در یک ساختار جدی قرار گرفته و کاربردی می‌شوند، مهم‌ترین فرآیندهایی هستند که قبل از هر گونه استفاده از این داده‌ها باید روی آن‌ها اعمال شوند. بر خلاف تلاش‌های جهانی در این رابطه، در ایران تاکنون تلاش زیادی در رابطه با احیا و بازسازی این اطلاعات صورت نگرفته است. این در حالی است که ایران به‌دلیل داشتن سابقه طولانی مطالعات خاک مملو از اطلاعات ارزشمند خاک به ارث رسیده از خاک‌شناسان پیشکسوت می‌باشد. بنابراین این مطالعه با هدف احیا مطالعات موروثی در دسترس و بازسازی و ارزیابی کیفیت آن‌ها به‌عنوان پیش‌نیازهای مورد نیاز برای استفاده از آن‌ها در نقشه‌برداری رقومی اجرا می‌شود.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۰۴۸۰ کیلومترمربع در مرز بین استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری قرار دارد. این منطقه به‌دلیل وجود رودخانه و سد زاینده‌رود از قدیم مورد توجه خاک‌شناسان بوده است و خاک‌های آن طی مطالعات زیادی بررسی شده‌اند. اما به‌دلیل عدم دسترسی به تمام مطالعات، سه مطالعه آرشیوی خاک که کل منطقه مطالعاتی را پوشش می‌دهند انتخاب و بررسی شدند. پس از ثبت اطلاعات این مطالعات در کامپیوتر و

* مسئول مکاتبه: zahra.rasaei@gmail.com

زمین مرجع کردن نقشه‌ها و رقومی کردن مرز واحدهای خاک، کیفیت نقشه‌های موروثی طبق استانداردهای کنترل کیفیت کرنل مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت با استفاده از نقشه‌ها و اطلاعات کمکی در دسترس، میزان جابجایی احتمالی مرز واحدهای خاک بررسی و تصحیح شد. هم‌چنین شاخص وزن‌دار شده تائو و صحت کلی وزن‌دار شده برای ارزیابی کمی کیفیت نقشه‌ها محاسبه شدند.

یافته‌ها: به‌منظور حفظ و نگه‌داری اطلاعات موروثی جمع‌آوری‌شده، نقشه‌های خاک و اطلاعات خاک‌رخ‌های آن‌ها در رایانه ثبت و با کیفیت خوبی زمین مرجع و رقومی شدند. نتایج ارزیابی کیفیت و کارایی واحدهای نقشه‌های خاک نشان داد مقیاس نقشه‌ها بزرگ‌تر از مقیاس ارائه شده در روی نقشه‌ها می‌باشند. هم‌چنین راهنمای نقشه‌ها اطلاعات کافی مورد نیاز را در اختیار کاربران نقشه قرار می‌دهند. بررسی میزان جابجایی مرز واحدهای نقشه نشان داد نقشه‌ها از صحت مکانی خوبی برخوردار می‌باشند. نتایج ارزیابی آماری صحت واحدهای نقشه نشان داد در تمام مطالعات و هم‌چنین مجموع آن‌ها، صحت کلی نقشه در تمام سطوح طبقه‌بندی بیش‌تر از ۷۰٪ و تائو بیش‌تر از ۵۰٪ می‌باشند که بیانگر دقت خوب نقشه‌ها می‌باشند.

نتیجه‌گیری: نتایج این بررسی نشان داد، بر خلاف تفکر عمومی که درباره کیفیت کم نقشه‌های موروثی خاک‌ها وجود دارد، نقشه‌های مورد بررسی در منطقه مطالعاتی از نظر ویژگی‌های کلی آن‌ها، از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشند. نتایج این بررسی هم‌چنین تأیید می‌کنند که اطلاعات و نقشه‌های مطالعات موروثی خاک می‌توانند با درجه اطمینان خوبی در فرآیند نقشه‌برداری رقومی مورد استفاده قرار بگیرند. بدین‌ترتیب با استفاده از این اطلاعات آرشیوی در دسترس می‌توان از صرف هزینه‌های مطالعات جدید خاک صرفه‌جویی کرد.

واژه‌های کلیدی: اطلاعات موروثی خاک، شاخص وزن‌دار شده تائو، صحت کلی وزن‌دار شده، معیارهای کنترل کیفیت کرنل، نقشه‌برداری سنتی خاک

مقدمه

خاک نقش مهمی در زمینه‌های مختلف محیطی و اجتماعی (مدیریت برنامه‌ریزی کاربری اراضی، خدمات زیست‌بوم، امنیت غذایی و ...) دارد و اطلاعات مکانی و نقشه ویژگی‌ها و کلاس‌های خاک از جمله منابع اطلاعاتی مهم در پیشبرد اهداف مدیریت و توسعه پایدار می‌باشند (۱۰). بنابراین تلاش برای تهیه نقشه‌های دقیق و قابل اعتماد اطلاعات خاک در حال افزایش می‌باشد. امروزه استفاده از اطلاعات موروثی خاک‌ها که مهم‌ترین منابع اطلاعاتی در دسترس می‌باشند، به‌عنوان یک راهکار مهم مورد توجه زیادی قرار گرفته است (۲ و ٤۰). این داده‌ها که حامل اطلاعات مهم در مورد حالت و ویژگی‌های خاک در طول زمان و مکان هستند، می‌توانند یک چشم‌انداز در راستای مدیریت بهتر منابع ایجاد کنند (۲).

تفکر عمومی در رابطه با مطالعات و نقشه‌برداری‌های سنتی خاک این است که عمدتاً از نظر توزیع مکانی و صحت ویژگی‌های خاک (٤۲) و امکان ارزیابی‌های کمی نتایج (۱۱) ضعف و محدودیت دارند. هم‌چنین، عدم امکان دسترسی به داده‌ها، تهیه شدن بر اساس استانداردهای قدیمی، تغییر خاک‌ها در طول زمان، و خراب و فرسوده شدن

نقشه‌های خاک استفاده از آن‌ها را محدود و حتی مشکل کرده است به‌طوری‌که تمایل برای استفاده از آن‌ها کم می‌باشد. با توجه به وابستگی مدیریت بهتر خاک به این اطلاعات موروثی و هم‌چنین اهمیت استفاده از آن‌ها در مدیریت محیط زیست، باید تلاش‌های جدی برای حفظ و استفاده مجدد از این داده‌های قدیمی خاک صورت بگیرد (۱۷ و ۲۲).

در دهه اخیر تلاش‌ها برای حفظ و نگه‌داری این اطلاعات (۲ و ۲۲)، استفاده مجدد (۱ و ۳۹) و افزایش قابلیت اعتماد آن‌ها از طریق به‌روزگردانی با استفاده از نمونه‌برداری‌های جدید صحرایی (۱۱ و ۱۳) و تکنیک‌های نقشه‌برداری رقومی (۱۵ و ٤۰) صورت گرفته و در حال افزایش می‌باشند. اخیراً تلاش‌های زیادی در سطح جهانی برای کنترل کیفیت و بازسازی این مطالعات صورت گرفته است (۲، ۳، ۲٤ و ۳۸). بدیهی است که پیش‌پردازش‌هایی برای استفاده از آن‌ها نیاز می‌باشد (۲، ۱۲ و ۳۸). رهانیدن[1] و بازسازی[2] فرآیندهای مهمی هستند که قبل از هر گونه استفاده از داده‌های موروثی باید روی آن‌ها اعمال شوند. تلاش برای محافظت از داده‌های قدیمی را رهانیدن و مرحله بعدی که طی آن اطلاعات موجود از خطر نابودی حفظ شده و در یک ساختار جدید قرار گرفته و کاربردی می‌شوند را بازسازی داده‌ها گویند (۲۲).

ایران با دارا بودن متخصصین خاک‌شناسی با تجربه و سابقه زیاد در مطالعات و نقشه‌برداری‌های خاک، غنی از داده‌ها و اطلاعات موروثی خاک می‌باشد. از سال ۱۹۷۰ بر اساس روش پیشنهادی ماهلر (۱٤)، خاک‌های مناطق زیادی از کشور توسط سازمان‌های مختلف از جمله مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور با اهداف مختلف و در مقیاس‌های متنوع بر پایه تفسیر عکس‌های هوایی و تفکیک واحدهای فیزیوگرافی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (٤).

اگرچه اشکالات وارد شده به روش مطالعه این مطالعات شامل صرف هزینه و وقت زیاد و در عین‌حال کم‌تر کاربردی و علمی بودن (٤۳) و هم‌چنین کیفیت کم محصول نهایی آن‌ها (۱۱)، پژوهشگران را به‌سمت روش‌های دیگر نقشه‌برداری خاک‌ها از جمله روش ژئوپدولوژی (٤۳) و نقشه‌برداری رقومی خاک‌ها (۱٦) کشانده است، چشم‌پوشی از این حجم عظیم داده و اطلاعات در شرایط فعلی با محدودیت‌های موجود منابع هدررفت سرمایه‌های ملی می‌باشد (۱۷ و ۲۲). بر خلاف اهمیت‌های ذکر شده در رابطه با این داده‌های با ارزش و ضرورت حفظ و استفاده مجدد آن‌ها، تلاش زیادی در زمینه نجات و بازسازی این مطالعات در ایران صورت نگرفته است.

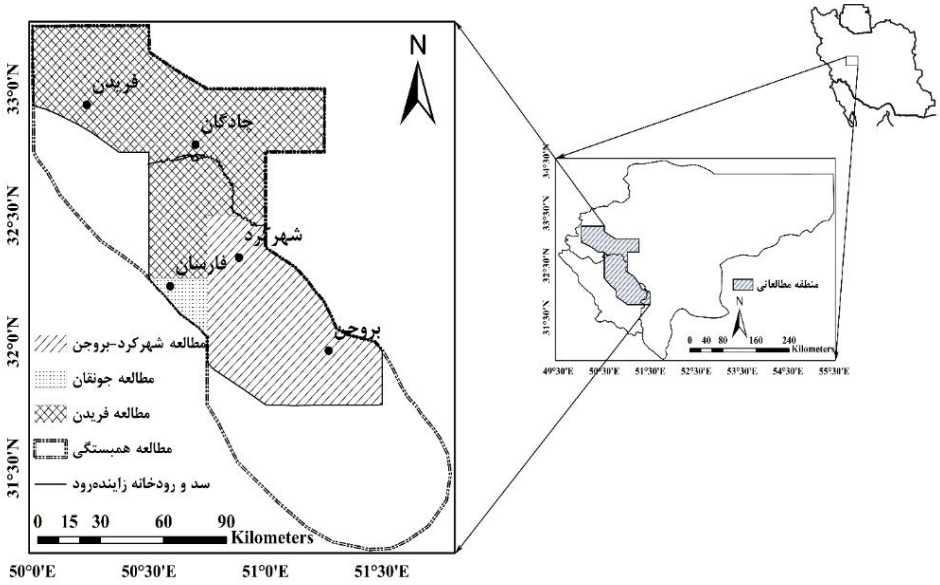
هم‌راستا با تلاش‌های جهانی برای حفظ و استفاده مجدد از داده‌ها و اطلاعات موروثی خاک، در ایران نیز استفاده از این داده‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۱۹). تلاش‌هایی که اخیراً در ایران برای استفاده از داده‌های موروثی صورت گرفته عمدتاً برای به روزگردانی آن‌ها (۱۸ و ٤۱) بوده است. از آن‌جایی‌که به روزگردانی داده‌ها با کمک نمونه‌برداری‌های جدید مستلزم صرف هزینه و وقت می‌باشد، مطالعه حاضر با هدف احیا و بازسازی داده‌های موروثی خاک در بخش‌هایی از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری و بررسی قابلیت استفاده از آن‌ها در قالب استانداردهای مورد نیاز برای استفاده از روش‌های نقشه‌برداری رقومی طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: منطقه مطالعاتی با وسعت ۱۰٤۸۰ کیلومترمربع در مرز استان‌های اصفهان و چهارمحال و

1- Rescue
2- Renewal

بختیاری بین عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ٤٥ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین دمای سالانه ۹/۵ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۲۰ تا ٤۱۰ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع از ۱۸۰۲ متر تا ۳۸۳۵ متر بالاتر از سطح دریا متغیر می‌باشد. رژیم حرارتی مزیک و رژیم رطوبتی عمدتاً زریک می‌باشند. رژیم رطوبتی در اراضی پست و مناطق با آثار ماندابی به رژیم اکوئیک و در قسمت‌های کوچکی از شمال‌شرق منطقه به اریدیک تغییر می‌کند. سنگ‌های رسوبی و رسوبات آبرفتی مواد مادری اصلی خاک‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. خاک‌های تشکیل شده بر روی آبرفت‌های بادبزنی سنگریزه‌ای و دشت‌های کوهپایه‌ای با مواد مادری درشت‌دانه، بافت سبک و عمق کم دارند (۳۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در مرز استان‌های اصفهان (قسمت بالا سمت راست منطقه مطالعاتی) و چهارمحال و بختیاری (قسمت پایین سمت چپ منطقه مطالعاتی). سه منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه مشخص شده‌اند.

Figure 1. Location of the study area in the border of Isfahan (upper right of the study area) and Chaharmahal-va-Bakhtiari (lower part of the study area) provinces. The three studied areas are shown too.

روش اجرا: در این مقاله، مطالعات موروثی در دسترس طبق دستورالعمل‌های ارائه شده در روزیتر (۲۰۰۸) و کامبل و همکاران (۲۰۱۵) احیا و بازسازی می‌شوند (۲ و ۲۲). بر اساس این دستورالعمل‌های پیشنهاد شده، ابتدا پیشینه مطالعات خاک‌شناسی در منطقه مورد مطالعه بررسی و نقشه‌های موروثی موجود با اطلاعات کافی انتخاب می‌شوند. سپس نقشه‌های موروثی انتخاب شده در رایانه ثبت و در سیستم اطلاعات جغافیایی زمین مرجع شده و مرز رقومی واحدهای خاک ترسیم می‌شوند. در مرحله بعد کیفیت نقشه‌های موروثی با استفاده از معیارهای مختلف بررسی و کنترل می‌شوند. در نهایت صحت مکانی واحدهای نقشه محاسبه و میزان جابجایی احتمالی آن‌ها در مقایسه با خطوط توپوگرافی و نقشه‌های گوگل ارتث بررسی و اصلاح می‌گردند.

بنابراین در این مطالعه، در ابتدا داده‌ها و اطلاعات موروثی خاک‌های منطقه شامل نقشه‌های خاک، گزارش‌های خاک‌شناسی و اطلاعات آزمایشگاهی نیم‌رخ‌های سه مطالعه موروثی خاک‌شناسی شهرکرد- بروجن، جونقان و فریدن (۳۱، ۳۲ و ۳۳) در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری شدند (دیرینه‌شناسی داده‌ها). محدوده مطالعاتی در هر یک از این سه مطالعه خاک‌شناسی در شکل ۱ نشان داده شده است. مطالعه شهرکرد- بروجن در سال‌های ۱۳٤۹، ۱۳٥٦، ۱۳٥۷ و ۱۳٥۹، مطالعه جونقان در سال ۱۳٦۱ و مطالعه فریدن در سال‌های ۱۳٦۲، ۱۳٦٤، ۱۳٦٥ و ۱۳٦٦ توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شده‌اند. به‌منظور حفظ نقشه‌ها و داده‌های موروثی از تخریب، کلیه نقشه‌های موجود با رزلوشن افقی و عمودی ۳۰۰ نقطه در هر اینچ (dpi) اسکن و با ساختار رقومی در رایانه ثبت شدند (احیا اطلاعات). در ادامه، به‌منظور امکان استفاده از این داده‌ها و اطلاعات موروثی خاک و هم‌خوانی آن‌ها با پیشرفت‌های تکنولوژی، پیش‌پردازش‌هایی تحت عنوان بازسازی داده‌ها و اطلاعات موروثی روی آن‌ها صورت گرفت (۲ و ۲۲).

در اولین مرحله مهم در بازسازی اطلاعات موروثی خاک‌ها، موقعیت جغرافیایی نقشه‌های موروثی بر اساس یک سیستم جغرافیایی مرجع کنترل و تصحیح شدند (۹). در راستای اجرای این هدف، نقشه‌ها با استفاده از اطلاعات سیستم مختصات جغرافیایی ذکر شده در اطراف آن‌ها زمین مرجع شدند. به‌منظور کنترل تصحیح این مرحله و همچنین افزایش دقت نقشه‌های زمین مرجع شده تعدادی اطلاعات کمکی شامل الف) نقاط کنترل زمینی شامل محل تقاطع جاده‌ها، روستاها و ب) خطوط هم ارتفاع و نقشه‌های گوگل مپ استفاده گردیدند. در مرحله بعد، نقشه‌های خاک به روش جابجایی رده اول چندجمله‌ای در نرم‌افزار ArcMap 10.3 تصحیح و در نهایت در سیستم متریک زمین مرجع شدند. کیفیت این مرحله با توجه به حداقل مربع خطا (RMSE) به‌عنوان معیاری از متوسط خطا در بررسی کیفیت فرآیند زمین مرجع کردن نقشه‌ها (۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور، طول جانبی حداقل مساحت قابل ترسیم روی نقشه[1] از مجذور میزان MLA (۱۰ هکتار در مقیاس ۱:٥۰۰۰۰) به متر و حداکثر صحت مکانی در مقیاس[2] بر حسب متر از حاصل ضرب عدد مقیاس در ۰/۲٥ میلی‌متر محاسبه می‌شوند. در نهایت به‌منظور ارزیابی فرآیند زمین مرجع کردن، سهم RMSE از طول جانبی MLA با ضرب کردن این دو عدد در یکدیگر به‌دست می‌آید (٥، ٦ و ۸).

در دومین مرحله از بازسازی اطلاعات و داده‌های موروثی خاک، مرز واحدهای خاک و موقعیت قرارگیری نیم‌رخ‌هایی که تشریح کامل ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی آن‌ها در گزارش ذکر شده است، رقومی شدند. سپس با در نظر گرفتن این نکته که یکی از مهم‌ترین مراحل پیش‌پردازش اطلاعات موروثی خاک ارزیابی کیفیت آن‌ها می‌باشد، کیفیت جداسازی واحدها و مرزبندی‌های نقشه‌های موروثی به کمک معیارهای کفایت کرنل[3] شامل ۱) مقیاس و بافت، ۲) راهنمای نقشه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در این مقاله کیفیت نقشه‌های خاک به روش کمی نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مقیاس و بافت نقشه: این معیارها به منظور ارزیابی کوچک‌ترین مساحت خوانا واحدهای نقشه خاک با استفاده از تعاریف پیشنهاد شده توسط فوربس و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شدند (٦). حداقل مساحت

1- Side length of Minimum Legible Area (MLA)
2- Maximum location accuracy at scale
3- Cornell

خوانا[1]، با در نظر گرفتن حداقل مساحت محدوده قابل ترسیم[2] ۰/٤ سانتی‌مترمربع محاسبه گردیدند. به‌طور استاندارد، مساحت‌های کوچک‌تر از MLA باید در واحدهای بزرگ‌تر (و مشابه) ادغام شوند. همخوانی مقیاس انتخابی نقشه‌ها با واقعیت نقشه‌های تهیه شده با در نظر گرفتن مقدار بهینه ۲ برای شاخص حداکثر کاهش[3]، مورد ارزیابی قرار گرفتند. IMR فاکتوری است که نشان می‌دهد مقیاس یک نقشه تا چه اندازه می‌تواند کوچک شود بدون این که وضوح نقشه کاهش یابد. این شاخص با در نظر گرفتن MLD برابر با ۰/٤ سانتی‌مترمربع، از مجذور نسبت متوسط اندازه محدوده‌های ترسیم شده[4] (بر حسب سانتی‌مترمربع) به MLD بدست می‌آید، که ASD عبارت است از نسبت متوسط اندازه محدوده‌های ترسیم شده بر روی نقشه به عدد مقیاس (٦ و ۲۰).

راهنمای نقشه: به‌منظور ارزیابی راهنمای نقشه، دو روش کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش اول، جزئی از واحدهای نقشه که از هر دو منظر اختصاصی بودن[5] و همگنی[6] به‌صورت "کافی"[7] ارزیابی بشود مورد استفاده و بررسی قرار می‌گیرد. در روش دوم، نسبتی از منطقه مطالعاتی که دربردارنده واحدهای نقشه "به خوبی تعریف شده"[8] است به‌عنوان معیار کفایت در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله، روش دوم به‌عنوان یک معیار قابل قبول‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد (٦). در این روش، واحدهای خاک که با توجه به اطلاعات و مشخصات ذکر شده در گزارش‌ها، قابل طبقه‌بندی در سطوح مختلف رده‌بندی (رده، زیررده، گروه بزرگ و یا زیرگروه) باشند، به‌عنوان واحدهای خاک با اطلاعات کافی در نظر گرفته می‌شوند. سپس راهنمای نقشه خاکی که اجزا واحدهای خاک آن که در مرحله قبل به‌صورت "کافی" ارزیابی شده‌اند، بیش از ۸۰٪ از سطح منطقه را در بر گرفته باشند، به‌صورت "کافی تعریف شده[9]" در نظر گرفته می‌شود. کیفیت کلی اطلاعات مطالعه خاک با نسبتی از واحد زمین یا مساحت مطالعاتی نسبت به تعداد کل واحدها یا مساحت کل بیان می‌شود (٦). در این مطالعه، در هر سه منطقه مطالعاتی به‌طور جداگانه واحدهای خاک از نظر میزان اطلاعات موجود در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور واحدهای خاک که در طی مطالعه در آن‌ها نیم‌رخ مطالعاتی حفر و مورد بررسی قرار گرفته باشد که بتوان با استفاده از اطلاعات موجود در گزارش‌های خاک‌شناسی مربوطه آن‌ها را طبقه‌بندی کرد، به‌عنوان واحدهای خاک با اطلاعات کافی، و واحدهای خاکی که در آن‌ها هیچ‌گونه مطالعه خاکی شامل نیم‌رخ یا مته صورت نگرفته است به‌عنوان واحدهای خاک با اطلاعات ناکافی در نظر گرفته شدند. مجموع مساحت این واحدها که بیانگر واحدهای خاک با اطلاعات کافی و ناکافی در هر منطقه می‌باشند محاسبه گردیدند. با در نظر گرفتن مساحت کل واحدهای خاک (شامل مجموع واحدهای دارای اطلاعات و بدون اطلاعات) و محاسبه نسبت هر یک از آن‌ها، تصمیم گرفته شد که آیا راهنمای نقشه دارای اطلاعات کافی می‌باشد یا خیر. به‌عبارت دیگر نقشه خاکی که بیش از ۸۰٪ واحدهای آن با اطلاعات کافی در نظر گرفته شده باشد، به‌عنوان نقشه خاک با اطلاعات کافی در نظر گرفته شد.

روش آماری: به‌منظور ارزیابی کمی کیفیت نقشه‌های سنتی خاک، شاخص‌های آماری مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که معروف‌ترین آن‌ها شاخص کاپا و

1- Minimum Legible Area, MLA
2- Minimum Legible Delineation, MLD
3- Index of Maximum Reduction, IMR
4- Average size delineation, ASD
5- Specificity
6- Homogeneity
7- Adequate
8- Well-defined
9- Adequately defined

صحت عمومی نقشه می‌باشند. در محاسبه شاخص کاپا فرض بر این است که سطرها و ستون‌های ماتریس خطا مستقل بوده و احتمال بحرانی آن‌ها قبل از طبقه‌بندی مشخص می‌باشد. در حالی‌که احتمال بحرانی کاربر تا زمان تکمیل نقشه مشخص نمی‌باشد. بنابراین محاسبات نیازمند تعیین احتمال شرطی برای کاربر نقشه می‌باشند. بنابراین شاخص تائو با در نظر گرفتن این اصل تعریف شده است. از آنجایی که برخی از خطاها از درجه اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند، در نظر گرفتن ماتریس وزن‌های مربوط به هر خطا اطلاعات عملی‌تری در مورد میزان خطای کلاس‌بندی در اختیار قرار می‌دهند (۲۱ و ۲۳). بنابراین شاخص تائو و صحت عمومی وزن‌دار شده نقشه طبق فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$T_w = \frac{(\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} w_{ij}\cdot p_{ij}) - (\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} w_{ij}\cdot p_{i}\cdot p_{+j})}{1 - (\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} w_{ij}\cdot p_{i}\cdot p_{+j})} \quad (۱)$$

$$A_{ow} = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} w_{ij}\cdot p_{ij} \quad (۲)$$

که در آن، T_w شاخص تائو وزن‌دار شده، A_{ow} صحت عمومی وزن‌دار شده نقشه، W_{ij} وزن مربوط به سلول، P_{ij} میزان احتمال مربوط به هر سلول، P_i میزان احتمال هر ردیف و P_{+j} حاصل جمع احتمال هر ستون می‌باشد.

در این مطالعه شاخص وزن‌دار شده تائو (رابطه ۱) برای ارزیابی کیفیت جداسازی واحدهای نقشه خاک در چهار سطح رده‌بندی تاکسونومیکی خاک‌ها (رده، زیررده، گروه بزرگ و زیر گروه) مورد استفاده قرار گرفت و سپس صحت کلی نقشه‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. ماتریس شباهت به‌دست آمده بر اساس فاصله تاکسونومیکی بین خاک‌ها به‌عنوان ماتریس وزن‌ها مورد استفاده قرار گرفت (۲۳). به این منظور، فاصله ماهالنوبیس بین خاک‌ها بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با استفاده از رابطه ۳ اندازه‌گیری و شباهت بین آن‌ها، با اختلاف ۱ از نسبت فاصله‌های به‌دست آمده به بیش‌ترین فاصله تعیین شد.

$$dij=\sqrt{((x_i-x_j)^t\ S^{(-1)}\ (x_i-x_j))} \quad (۳)$$

که در آن، dij ماتریس فاصله D با ابعاد $(c \times c)$ است که c تعداد گروه‌های خاک در سطوح مختلف تاکسونومیکی است، S بیانگر ماتریس کو- واریانس می‌باشد. مقدار dij نشان‌دهنده فاصله تاکسونومیکی بین گروه خاک i و j بر اساس ویژگی‌های خاک x است.

ماتریس‌های خطا با استفاده از اطلاعات تعدادی نیم‌رخ‌های موروثی موجود در سطح منطقه به‌عنوان داده‌های واقعیت زمینی تهیه شدند. به این منظور نقشه پراکنش نیم‌رخ‌های جدید بر روی نقشه‌های خاک رقومی شده قرار گرفت و پس از شناسایی نیم‌رخ‌های جدید در هر واحد نقشه خاک، ماتریس‌های خطای طبقه‌بندی خاک‌ها در چهار سطح رده، زیررده، گروه بزرگ و زیرگروه برای هریک از مناطق مطالعاتی و مجموع آن‌ها تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند.

از آن‌جایی‌که واحدهای موروثی خاک در سه منطقه مطالعاتی، بر مبنای واحدهای فیزیوگرافیک مختلف جدا شده‌اند، به‌منظور اجرای سومین مرحله از بازسازی اطلاعات و داده‌های موروثی خاک، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه و مشتقات درجه اول و یا دوم آن در تشخیص و تعیین جابجایی واحدهای موروثی خاک مورد استفاده قرار گرفت. بدین‌منظور نقشه‌های ارتفاع و شیب و همچنین خطوط توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با رزلوشن مکانی ۹۰ متری استخراج شدند. جابجایی مرزهای نقشه موروثی با استفاده از معیار صحت

مکانی پیشنهاد شده توسط گودچی و هانتر (۱۹۹۷) ارزیابی شدند (۷). بنابراین بخشی از طول کل خطوط رقومی شده که در یک حد آستانه از پیش تعیین شده بین فاصله خاصی از خطوط توپوگرافی استخراج شده از DEM قرار می‌گیرند برای ارزیابی صحت مکانی واحدهای نقشه خاک استفاده می‌شوند. بدین‌منظور مرز واحدهای خاک رقومی شده با دقت مکانی نامشخص (خطوط تست) و خطوط با دقت مکانی مشخص و بالا استخراج شده از مدل رقومی ارتفاعی در فواصل ۱۰۰ متری (خطوط مرجع) با یکدیگر هم‌پوشانی و مقایسه شدند. سپس درصد مجموع طول‌های تست واقع شده در منطقه حائل اطراف خطوط مرجع با فواصل مشخص، به‌صورت درصدی از طول کل تست محاسبه شد. بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط گودچی و هانتر (۱۹۹۷) فواصل حائل از حداکثر صحت مکانی منطقه (۱۲/۵ متر برای مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نقشه) شروع و تا رسیدن به نسبت آستانه ۹۰ درصد ادامه یافت (۷). سپس به‌منظور یافتن جابجایی‌های احتمالی مرز واحدهای خاک، نقشه‌های موروثی خاک زمین مرجع و رقومی‌شده روی نقشه‌های استخراج شده از مدل رقومی ارتفاعی هم‌پوشانی داده شدند. در مواردی که تفاوت‌های زیادی بین مرز واحدهای خاک و عوارض نقشه پایه دیده شد، مرز واحدهای خاک اصلاح شدند.

نتایج و بحث

دیرینه‌شناسی و رقومی‌سازی اطلاعات: بر اساس لیست در دست مطالعات خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، مطالعات زیادی در طول سال‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته‌اند (جدول ۱). بر خلاف این‌که خاک‌های منطقه طی مطالعات خاک‌شناسی متفاوت در طول سال‌های گذشته به کرات مورد بررسی قرار گرفته‌اند، تعداد مطالعات خاک‌شناسی موروثی جمع‌آوری شده بسیار اندک می‌باشند. به‌عبارت دیگر در زمان انجام بررسی‌ها برای یافتن مطالعات موروثی در سطح منطقه، امکان دسترسی به تمام مطالعات وجود نداشت. به‌طورکلی، نتیجه بررسی‌ها منجر به یافتن چهار مطالعه موروثی خاک شامل مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک‌شناسی استان چارمحال و بختیاری (مناطق شهرکرد و بروجن) (۳۱)، جونقان (۳۲) و فریدن (۳۳) و هم‌چنین مطالعه همبستگی خاک‌های جنوب خشک مرکزی ایران (۳٤) در سطح منطقه گردید (جدول ۱). بر اساس این‌که از هر مطالعه کشف شده در منطقه مطالعاتی چه میزان اطلاعات در دسترس می‌باشد، می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی تقسیم کرد. دسته اول شامل مطالعات موروثی خاک‌شناسی می‌باشند که تمام اطلاعات آن‌ها در دسترس می‌باشند (۳۱، ۳۲ و ۳۳) و دسته دوم مطالعاتی هستند که به‌جز نقشه خاک، سایر اطلاعات ذکر شده آن‌ها در دسترس است (۳٤). در میان این مطالعات موروثی خاک‌شناسی، مطالعات دسته اول به‌دلیل پوشش کامل منطقه مطالعاتی و همچنین در بر داشتن اطلاعات کامل و در دسترس مطالعات خاک‌شناسی منطقه مورد مطالعه، برای بررسی در این مقاله انتخاب گردیدند. شکل ۱ موقعیت قرارگیری محدوده‌های مطالعاتی و جدول ۲ ویژگی‌های کلی آن‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۱- لیست در دسترس از مطالعات موروثی خاک‌شناسی انجام‌شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Available list of legacy soil surveys performed by Soil and Water Research Institute of Iran in the study area.

شماره Number	نشریه	مطالعه خاک Soil survey	موقعیت Location	نوع مطالعه و مقیاس Type and scale	مساحت (کیلومترمربع) Area (Km^2)	سال مطالعه Year	منبع Reference
1	119	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی قسمتی از اراضی منطقه شهرکرد Semi-detailed soil survey of some parts of Shahrekord area	شهرکرد Shahrekord	نیمه‌تفصیلی ۱:۵۰۰۰۰ Semi-detailed 1:50000	48.5	1968	25
2	135	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی منطقه آورگان (بروجن) Semi-detailed soil survey of Avargan region (Borujen)	بروجن (آورگان) Borujen (Avargan)	نیمه‌تفصیلی ۱:۲۰۰۰۰ Semi-detailed 1:20000	28	1970	26
3	136	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی منطقه دزک شهرکرد Semi-detailed soil survey of Dezak region of Shahrekord	شهرکرد (دزک) Shahrekord (Dezak)	نیمه‌تفصیلی ۱:۲۰۰۰۰ Semi-detailed 1:20000	23	1970	27
4	543	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی و اجمالی مناطق مختلف چهارمحال و بختیاری (مناطق اطراف بروجن) Semi-detailed and reconnaissance soil survey of different parts of Chaharmahal-va-Bakhtiari province (around Borujen)	چهارمحال و بختیاری (مناطق اطراف بروجن) Chaharmahal-va-Bakhtiari province (around Borujen)	نیمه‌تفصیلی و اجمالی ۱:۵۰۰۰۰ ۱:۱۰۰۰۰۰ Reconnaissance and semi-detailed 1:50000 1:100000	105 48	1977	28
5	551	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی اراضی دانشکده کشاورزی و دامپروری شهرکرد Semi-detailed soil survey of Agriculture and animal college of Shahrekord	شهرکرد Shahrekord	نیمه‌تفصیلی ۱:۲۰۰۰۰ Semi-detailed 1:20000	2	1977	29
6	696	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی استان چهارمحال و بختیاری مناطق شهرکرد و بروجن Semi-detailed soil survey of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekord and Borujen area)	شهرکرد و بروجن Shahrekord and Borujen	نیمه‌تفصیلی ۱:۵۰۰۰۰ Semi-detailed 1:50000	1700	1970-1980	31
7	701	مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی منطقه جونقان Semi-detailed soil survey of Juneghan region, Chaharmahal-va-Bakhtiari province	جونقان Juneghan	نیمه‌تفصیلی ۱:۵۰۰۰۰ Semi-detailed 1:50000	154.75	1982	32
8	813	مطالعات تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه‌های تحقیقاتی استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری (گلپایگان- بروجن- براآن دوتر- شهرکرد) Semi-detailed soil survey and land classification research centers of Isfahan and Chaharmahal-va-Bakhtiari provinces (Golpaygan, Borujen, Braan Doter, Shahrekord)	گلپایگان- بروجن- براآن دوتر- شهرکرد Golpaygan, Borujen, Braan Doter, Shahrekord	تفصیلی گلپایگان: ۱:۵۰۰۰ بروجن: ۱:۲۵۰۰ براآن ۱:۱۰۰۰ دوتر: ۱:۵۰۰۰ Semi-detailed Golpaygan 1:5000 Borujen 1:2500 Braan 1:1000 Doter 1:5000	6.4	1984	30
9	855	مطالعات اجمالی و نیمه‌تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه فریدن Reconnaissance and semi-detailed soil survey and land classification of Fereydan region	فریدن Fereydan	اجمالی و نیمه‌تفصیلی ۱:۵۰۰۰۰ Reconnaissance and semi-detailed 1:50000	3085	1983-1987	33
10	1062	مطالعات همبستگی خاک‌های جنوب خشک مرکزی ایران، جلد دوم: منطقه شرق زاگرس (سمیرم، چهارمحال و بختیاری، فریدن) Correlation study of soils in central arid south of Iran, vol. 2: East of Zagros region (Fereydan, Chaharmahal-va-Bakhtiari and Semirom)	فریدن، چهارمحال و بختیاری و سمیرم Fereydan, Chaharmahal-va-Bakhtiari and Semirom	اجمالی ۱:۵۰۰۰۰ Reconnaissance 1:50000	15000	1992-1993	34

جدول ۲- ویژگی‌های کلی مطالعات موروثی خاک در دسترس در منطقه مورد مطالعه.

Table 2. The general characteristics of legacy soil studies available in the study area.

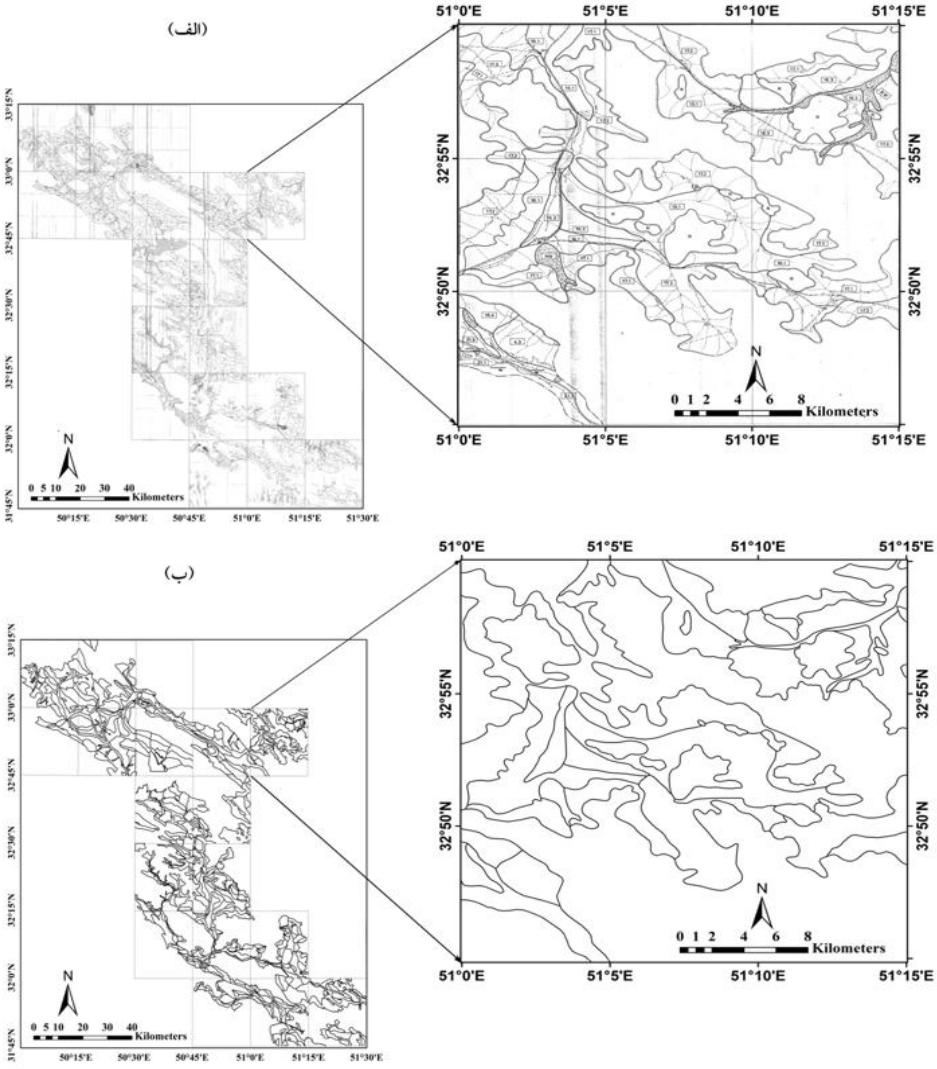
نام مطالعه Soil survey	سال اجرا Year	مساحت خاک‌های مطالعه‌شده (کیلومترمربع) Area of the studied soils (km^2)	تعداد شیت نقشه Number of soil map sheet	تعداد سری خاک Number of soil series	تعداد نیم‌رخ در دسترس Number of available soil profiles	منبع Reference
مطالعات خاک‌شناسی نیمه‌تفصیلی شهرکرد-بروجن، نشریه ٦٩٦ Semi-detailed soil surveys of Shahrekord-Borujen, No. 696	1970-1980	1700	6	19	48	31
مطالعات خاک‌شناسی منطقه جونقان، نشریه ۷۰۱ Semi-detailed soil surveys Juneghan region, No. 701	1982	154.75	1	8	8	32
مطالعات خاک‌شناسی اجمالی و نیمه‌تفصیلی منطقه فریدن، نشریه ۸۵۵ Reconnaissance and semi-detailed soil surveys Fereydan region, No. 855	1983-1987	3085	11	24	67	33
مطالعه همبستگی خاک‌های جنوب خشک مرکزی ایران، نشریه ۱۰٦۲ Correlation study of soils in central arid south of Iran, vol. 2: East of Zagros region, No. 1062	1992-1993	-	-	44	94	34

هر سه مطالعه انتخاب شده با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و بر اساس واحدهای فیزیوگرافیک (١٤) با هدف مطالعه خاک‌ها و ارزیابی اراضی برای کشت آبی طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۷ توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شده‌اند. خاک‌ها تا سطح فاز سری مطالعه و بر اساس کلید تاکسونومی آمریکایی (۳۵ و ۳٦) تا سطح فامیل طبقه‌بندی شده‌اند. اطلاعات این سه مطالعه در مجموع در سه جلد گزارش خاک‌شناسی مکتوب و ۳٦ برگ نقشه پرینت شده خاک و ارزیابی اراضی (متناظر با هر نقشه خاک) در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در دسترس می‌باشند. موقعیت نیم‌رخ‌های مطالعاتی بر روی نقشه‌های ارزیابی اراضی متناظر با هریک از واحدهای نقشه خاک مشخص شده‌اند. برگه‌های پرینت شده نقشه‌های خاک به‌طورکلی از کیفیت کم‌تری نسبت به نقشه‌های ارزیابی متناظر با آن‌ها برخوردار می‌باشند. ویژگی‌های کلی هریک از سری‌های خاک به همراه تشریح کامل ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی نیم‌رخ‌های شاهد (۳۵ و ۳٦) و هم‌چنین موقعیت قرارگیری آن‌ها در هر منطقه به تفسیر در گزارش‌های مربوطه آورده شده است. در مطالعات شهرکرد-بروجن و فریدن علاوه بر اطلاعات نیم‌رخ‌های شاهد اطلاعات فیزیکی شیمیایی و موقعیت قرارگیری تعدادی نیم‌رخ اضافی در سری‌های مختلف نیز در گزارش‌های مربوطه وارد شده است.

شکل ۲ نقشه‌های خاک رقومی و زمین مرجع شده (الف) و جدول ۳ نتایج کنترل کیفیت زمین مرجع کردن نقشه‌ها را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج ارایه شده در جدول ۳، مجذور خطای زمین مرجع نسبی نقشه‌های خاک از ۳٪ (در منطقه جونقان) تا ١٤٪ (در منطقه فریدن) و نقشه‌های ارزیابی اراضی از ۲٪ (در منطقه جونقان) تا ٦٪ (در منطقه فریدن) طول جانبی حداقل مساحت قابل ترسیم روی نقشه (ژئومتریک مربع) می‌باشد. میزان مربع خطا (RMSE) در نقشه‌های خاک از ۰/۸ تا ۳/٦ و در نقشه‌های ارزیابی اراضی ۰/٤۹ تا ۱/٤٤ برابر حداکثر صحت مکانی در مقیاس مطالعه (۱:۵۰۰۰۰) می‌باشد. با توجه

به نتایج، فرآیند زمین مرجع کردن نقشه‌ها نسبتاً از سطح خوبی برخوردار می‌باشد. در مقایسه با نقشه‌های خاک، کیفیت زمین مرجع کردن نقشه‌های ارزیابی اراضی بهتر می‌باشد که این امر می‌تواند به‌دلیل دسترسی به نقشه‌های اصلی در تمام نقاط مطالعاتی با کیفیت بهتر برگه‌های نقشه، سالم‌تر بودن آن‌ها و خواناتر بودن فایل‌های اسکن شده آن‌ها باشد.

نقشه نهایی مرزهای رقومی شده واحدهای خاک در شکل ۲ (ب) قابل مشاهده می‌باشند. بر اساس اطلاعات موجود در گزارش‌های خاک‌شناسی، جدول ویژگی‌های داده‌های خاکی در برگیرنده مشخصات مختلف پروفیل‌ها شامل شماره نیم‌رخ، ویژگی‌های مورفولوژیکی لایه‌های مختلف و نتایج آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، واحد خاک که هر نیم‌رخ در آن قرار گرفته و نوع خاک مربوط به آن برای کل منطقه مطالعاتی تهیه شد. هم‌چنین موقعیت جغرافیایی رقومی شده نیم‌رخ‌ها از روی نقشه‌های ارزیابی اراضی زمین مرجع شده استخراج و به پایگاه داده اضافه شدند.



شکل ۲- نقشه‌های خاک زمین مرجع شده (الف) و مرز واحدهای خاک مربوط به هر واحد نقشه (ب).

Figure 2. georeferenced soil maps (a) and digitized soil map boundaries of soil units (b).

جدول ۳- کیفیت فرآیند زمین مرجع کردن نقشه‌های خاک و ارزیابی اراضی.

Table 3. The quality of georeferencing process of legacy soil and evaluation maps.

منطقه مطالعاتی Region	نقشه‌های موروثی Legacy maps	مقیاس نقشه Scale	تعداد نقاط کنترل زمینی Number of ground control points	RMSE (m)	حداکثر صحت مکانی در مقیاس (متر) Maximum location accuracy at scale (m)	MLA (ha)	طول جانبی MLA Side length of MLA (m)	سهم RMSE طول جانبی MLA RMSE proportion of side length MLA
شهرکرد-بروجن Shahrekord-Borujen	نقشه خاک Soil map	1:50000	26	36.61	12.5	10	316.23	0.116
	نقشه ارزیابی اراضی Land evaluation valuation map	1:50000	10	14.75	12.5	10	316.23	0.047
جونقان Juneghan	نقشه خاک Soil map	1:50000	4	10.49	12.5	10	316.23	0.033
	نقشه ارزیابی اراضی Land evaluation valuation map	1:50000	4	6.12	12.5	10	316.23	0.019
فریدن Fereydan	نقشه خاک Soil map	1:50000	31	44.89	12.5	10	316.23	0.142
	نقشه ارزیابی اراضی Land evaluation valuation map	1:50000	15	18.01	12.5	10	316.23	0.057

ارزیابی کیفیت نقشه‌ها: جدول ٤، ارزیابی مقیاس و بافت نقشه بر اساس ASD و IMR نقشه‌های موروثی خاک مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تمامی واحدهای خاک ترسیم شده از مقدار MLA نقشه پرینت شده (۱۰ هکتار در مقیاس نقشه ۱:۵۰۰۰۰) بزرگ‌تر می‌باشند. بنابراین نقشه‌های موروثی بررسی شده از این نظر استاندارد می‌باشند. این در حالی است که تمام مقادیر IMR از مقدار بهینه (۰/۲) بیش‌تر می‌باشند. این امر به این معنی است که نقشه‌ها خوانا می‌باشند اما مقیاس نقشه تا حدی که خوانا بودن نقشه از بین نرود می‌تواند کاهش یابد. بنابراین با در نظر گرفتن مقدار بهینه IMR (۲) مقیاس نقشه‌ها در مناطق مطالعاتی شهرکرد-بروجن و جونقان می‌توانند تا ۱:۵۰۰۰۰۰ و در منطقه فریدن تا ۱:۷۵۰۰۰۰ کاهش یابند. سارمنتو و همکاران (۲۰۱٤) با بررسی نقشه‌های موروثی منطقه‌ای در برزیل دریافتند که مقیاس نقشه موروثی مورد بررسی از مقیاس ذکر شده روی نقشه کم‌تر می‌باشد (۲٤). کامبل و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی نقشه‌های موروثی در موزامبیک نشان دادند مقیاس نقشه‌های موروثی بزرگ بوده و نقشه‌ها می‌توانند در مقیاس‌های کوچک‌تر مورد استفاده قرار بگیرند (۲).

جدول ٤- ارزیابی مقیاس و بافت نقشه از طریق ASD و IMR نقشه‌های موروثی خاک مورد بررسی.

Table 4. Assessment of map scale and map texture through the ASD and IMR of studied legacy soil maps.

منطقه مطالعاتی Region	مساحت واحدهای نقشه (هکتار) Area of soil map units (ha)			بافت نقشه Map texture	
	حداقل Minimum	میانگین Mean	حداکثر Maximum	ASD (cm^2)	IMR
شهرکرد- بروجن Shahrekord-Borujen	44.38	811.40	6357.78	162.28	20.14
جونقان Juneghan	34.12	624.42	3762.00	124.88	17.67
فریدن Fereydan	36.94	1274.09	9732.78	254.82	25.24

در هر سه مطالعه، علامت هر یک از واحدهای خاک بر روی نقشه مشخص شده‌اند و توضیحات مربوط به هر واحد شامل علت جداسازی، نوع و ویژگی‌های خاک، مساحت و درصد پوشش و کلاس طبقه‌بندی اراضی در گزارش‌های مربوطه به تفسیر آورده شده است. به‌منظور قابل درک‌تر بودن طبقه‌بندی خاک‌ها، با توجه به اطلاعات کلی سری‌های خاک و هم‌چنین جزئیات ارائه شده در مورد هر واحد خاک، نیم‌رخ‌ها بر اساس معیارهای کلید تاکسونومی (۳۷) توسط نویسنده اول مقاله تا سطح زیرگروه مجدداً طبقه‌بندی شدند. خاک‌ها به‌طورکلی در ۵ رده اینسپتی‌سولز، آلفی‌سولز، انتی‌سولز، ورتی‌سولز و مالی‌سولز و در قسمت کوچکی از شمال‌شرق منطقه تعدادی از خاک‌ها در رده اریدی‌سولز قرار گرفتند. در ادامه، ۹ زیر رده، ۱۲ گروه بزرگ و ۲۰ زیر گروه بر اساس تغییرات خاک‌ها شناسایی و تفکیک شدند.

از نظر کلاس تاکسونومیکی، معیار کفایت فقط واحدهایی که اطلاعات کامل نیم‌رخ مطالعه شده درون آن‌ها و یا جزئیات تغییرات واحد در گزارش ذکر شده است به‌صورت "کافی" و سایر واحدها به‌صورت "ناکافی تعریف شده" در نظر گرفته شد. به‌طورکلی در مواردی که درصد مساحت منطقه "به خوبی تعریف شده" واحد خاک نسبت به درصد کل واحدهای خاک "به‌خوبی تعریف شده" قابل ملاحظه بود، کیفیت کلی اطلاعات مطالعه "کافی" (بیش‌تر از ۸۰ درصد) در نظر گرفته شد (۵ و ٦). جدول ۵ نتایج ارزیابی کیفیت راهنمای نقشه‌های موروثی خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هر سه منطقه مطالعاتی اطلاعات کافی راهنمای نقشه خاک موروثی با اطلاعات کافی ارزیابی شد. به‌عنوان نمونه، در نقشه خاک موروثی منطقه شهرکرد تعداد ٦۷ واحد خاک[1] جداسازی و ترسیم شده است که این واحدها با در نظر گرفتن تغییرات ویژگی‌های مختلف از جمله میزان سنگریزه سطحی و عمقی، شیب، فرسایش و غیره به ۱۲۳ اجزا مختلف تقسیم شده‌اند. از این میان، در ٤۸ واحد نیم‌رخ‌های خاک بررسی و نمونه‌برداری شده‌اند و در ٦٤ واحد آن‌ها خاک‌ها بررسی شده‌اند اما اطلاعات نیم‌رخ‌ها و یا متهای آن‌ها در گزارش ذکر نشده است و ۱۱ واحد فاقد هیچ‌گونه بررسی خاک می‌باشند. بنابراین ۱۱۲ واحد خاک (۱۱۲ = ٤۸ + ٦٤) به‌عنوان واحدهای با اطلاعات کافی در نظر گرفته شدند (واحدهای دارای نیم‌رخ نمونه‌برداری شده و نشده) که به‌طورکلی ۹۱ درصد از کل واحدهای خاک را شامل می‌شوند (۱۱۲ تقسیم بر ۱۲۳). از طرف دیگر، با در نظر گرفتن مساحت واحدهای خاک با اطلاعات ۹٦ درصد از کل واحدهای نقشه خاک دارای اطلاعات کافی می‌باشند. با در نظر گرفتن حد آستانه ۸۰٪، راهنمای نقشه این مطالعه اطلاعات کافی در بر دارد.

ماتریس خطای طبقه‌بندی خاک‌ها در چهار سطح تاکسونومیکی (رده، زیر رده، گروه بزرگ و زیر گروه) با استفاده از اطلاعات تعداد ٤۱ نیم‌رخ مطالعه شده در مطالعه موروثی همبستگی خاک‌های جنوب خشک مرکزی ایران (۳٤) تهیه شدند. ویژگی‌های کلی این مطالعه در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که طبقه‌بندی این نیم‌رخ‌های خاک نیز بر اساس معیارهای کلید تاکسونومی (۳۷) تا سطح زیرگروه به روز رسانی شده و مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج ارزیابی آماری صحت واحدهای نقشه در جدول ٦ آورده شده است. تمام مطالعات و هم‌چنین مجموع آن‌ها، صحت کلی نقشه در تمام سطوح طبقه‌بندی بیش‌تر از ۷۰٪ و تائو بیش‌تر از ۵۰٪ می‌باشند که نشان می‌دهند نقشه‌ها از نظر تفکیک واحدهای خاک از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشند. مقادیر پایین تائو ممکن است به‌دلیل عدم توازن بین تعداد خاک‌های مورد بررسی هر رده رخ داده باشد (۲۳). به‌عبارت

1- Soil delineation

دیگر در تمامی مناطق مطالعاتی اینسپتی‌سولز و آلفی‌سولز بیش‌ترین درصد خاک‌ها را تشکیل می‌دهند و رده انتی‌سولز در رده بعدی قرار دارد و سایر رده‌ها خاک شامل ورتی‌سولز، مالی‌سولز، اریدی‌سولز به‌صورت انگشت شمار در منطقه پراکنده شده‌اند. با این وجود کاربران نقشه با دقت بالا از ٦٠٪ در خاک‌های با تعداد کم تا حدود ۹۰٪ در مورد اینسپتی‌سولز می‌توانند اطلاعات نقشه را مورد استفاده قرار دهند. شاخص تائو و صحت عمومی نقشه با تفکیک خاک‌ها از رده به‌سمت سطوح پایین‌تر طبقه‌بندی کاهش یافته است که علت می‌تواند در بررسی جزئیات بیش‌تر در طبقه‌بندی خاک در سطوح پایین‌تر باشد.

جدول ٥- ارزیابی کیفیت راهنمای نقشه‌های موروثی خاک مورد بررسی.

Table 5. The quality assessment of legends of studied legacy soil maps.

فریدن Fereydan		جونقان Juneghan		شهرکرد- بروجن Shahrekord-Borujen		واحدهای خاک Soil units	
مساحت (هکتار) Area (ha)	نیم‌رخ خاک Soil profile	مساحت (هکتار) Area (ha)	نیم‌رخ خاک Soil profile	مساحت (هکتار) Area (ha)	نیم‌رخ خاک Soil profile		
280447	99	11297	12	149297.36	67	تعداد واحدهای خاک Number of soil units	
280447	212	11297	18	149297.36	123	تعداد کل اجزا واحدهای خاک Total number of soil delineations	
105073.19	67	7171	8	90237.47	48	نمونه برداری شده Sampled	
16250.61	70	4126	10	52488.56	64	فاقد نمونه‌برداری اما دارای نیم‌رخ Non-sampled with soil profile	کافی Adequate
12864.20	14	0	0	6571.33	11	نمونه‌برداری‌نشده و فاقد نیم‌رخ Non-sampled without soil profile	ناکافی Non-adequate
95	65	100	100	96	91	درصد کفایت تعریف واحد (٪) Percentage of adequacy of unit's definition (%)	
کافی Adequate	ناکافی Non-adequate	کافی Adequate	کافی Adequate	کافی Adequate	کافی Adequate	نتیجه Result	

جدول ٦- ارزیابی آماری واحدهای نقشه‌های موروثی خاک در چهار سطح طبقه‌بندی تاکسونومیکی.

Table 6. statistical evaluation of legacy soil maps' units for four taxonomic levels.

زیر گروه Sub group		گروه بزرگ Great group		زیر رده Suborder		رده Order		
صحت کلی Overall accuracy	شاخص تائو Tau index	صحت کلی Overall accuracy	شاخص تائو Tau index	صحت کلی Overall accuracy	شاخص تائو Tau index	صحت کلی Overall accuracy	شاخص تائو Tau index	
0.791	0.704	0.811	0.704	0.817	0.741	0.851	0.786	شهرکرد- بروجن Shahrekord-Borujen
0.696	0.501	0.696	0.503	0.733	0.541	0.776	0.630	جونقان Juneghan
0.824	0.717	0.841	0.759	0.846	0.763	0.841	0.756	فریدن Fereydan
0.792	0.791	0.798	0.733	0.844	0.742	0.855	0.773	مجموع مطالعات Total

کنترل و اصلاح جابجایی واحدهای خاک: جدول ۷ ارزیابی صحت مکانی مرزهای واحد نقشه خاک موروثی مناطق مطالعاتی در سطح اطمینان ۹۰ درصد را نشان می‌دهد. فواصل حائل از حداکثر صحت مکانی منطقه (۱۲/۵ متر برای مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نقشه) شروع و تا رسیدن به نسبت ۹۰ درصد در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس نتایج، در مناطق مطالعاتی شهرکرد- بوجن و جونقان تمام طول خطوط تست در محدوده حائل برابر با ریشه دوم MLA (۳۱۶/۲۳ متر) قرار می‌گیرند بنابراین این نقشه‌های موروثی مطالعه شده از صحت مکانی خوبی برخوردار می‌باشند. در منطقه فریدن این مقدار کمی از میزان ریشه دوم MLA بیش‌تر می‌باشد که بیانگر صحت مکانی کم‌تر این منطقه نسبت به دو منطقه دیگر می‌باشد. به‌عنوان مثال، شکل ۳ قسمتی از منطقه مطالعاتی شهرکرد- بروجن را نشان می‌دهد که قسمت کوچکی از مرز واحد خاک (خط نقطه‌چین) بین دو خط توپوگرافی با اختلاف ارتفاعی ۱۰۰ متر واقع شده است (خطوط ممتد) (تصویر ۱). در تصویر ۲ محدوده حایل به فاصله ۱۲/۵ متر اطراف خطوط توپوگرافی ترسیم شده است اما همان‌طور که دیده می‌شود، هیچ قسمتی از مرز واحد خاک در این محدوده حایل واقع نشده است. با افزایش اندازه محدوده حایل تا ۳۰۰ متر، قسمت کوچکی از مرز واحد خاک در محدوده حایل قرار می‌گیرد. این محدوده با افزایش اندازه محدوده حایل تا ۵۰۰ متر میزان مرز خاک واقع شده در محدوده حایل افزایش می‌یابد اما هم‌چنان مقداری از مرز خاک در خارج از محدوده قرار دارد. افزایش عرض محدوده حایل تا ۶۰۰ متر تمام طول مرز خاک در محدوده حایل قرار گرفته است. بنابراین همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش اندازه محدوده‌های حایل، طول مرز خاک واقع شده در این محدوده افزایش یافته که منجر به افزایش نسبت طول مرز خاک واقع در محدوده حایل نسبت به طول کل نقشه خاک می‌شود. هم‌پوشانی نقشه مرزهای واحدهای خاک زمین مرجع و رقومی شده بر روی نقشه‌های استخراج شده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه نشان داد جز در مواردی بسیار کم جابجایی در مرز واحدهای خاک مشاهده نشد. مرز واحدهای خاک با توجه به ویژگی‌های آن‌ها و همچنین مشخصات نقشه‌های کلاس شیب، جهت شیب و تصاویر گوگل مپ اصلاح شدند. در نهایت اطلاعات مربوط به نقشه‌های موروثی احیا شده در یک پایگاه داده وارد شدند. در این پایگاه اطلاعات کلی مربوط به این مطالعات وارد شدند که موقعیت منطقه، کیفیت داده‌ها، نوع خاک‌ها، ویژگی‌های خاکی و محیطی نیم‌رخ‌ها از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند.

جدول ۷- ارزیابی صحت مکانی مرزهای واحد نقشه خاک موروثی در سطح اطمینان ۹۰ درصد.

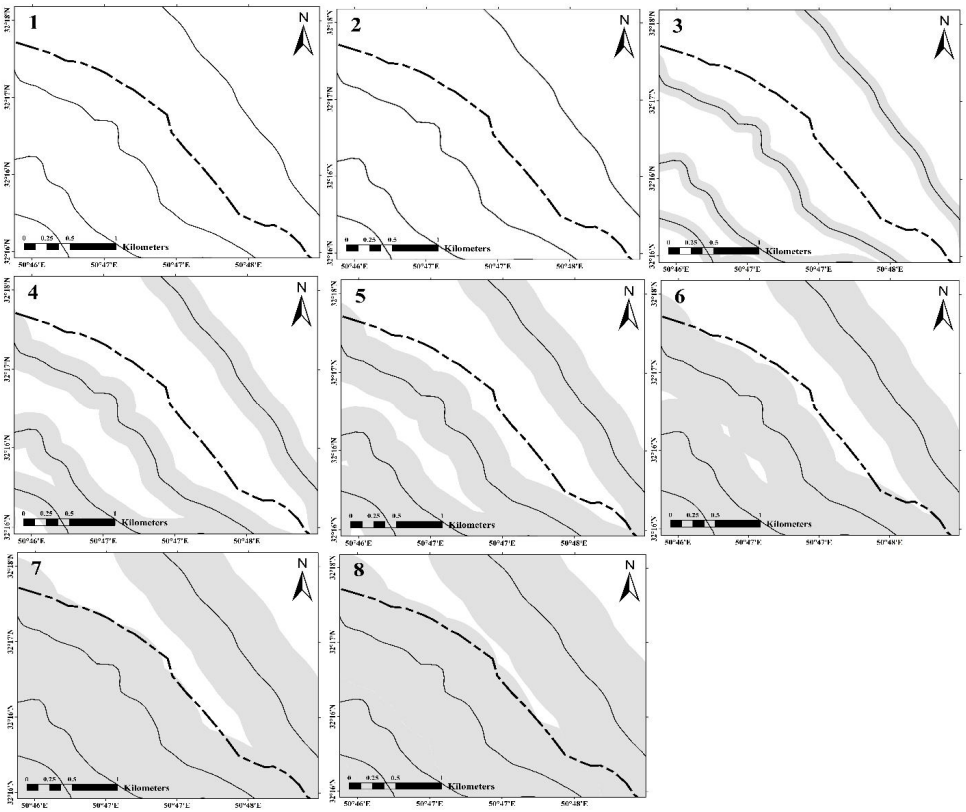
Table 7. Assessment of spatial accuracy of soil map units' border for target of 90th percentile.

فریدن طول کل: ۳۶۰/۴۷ کیلومتر Fereydan Total length: 360.47 km		جونقان طول کل: ۲۲/۶۱ کیلومتر Juneghan Total length: 22.61 km		شهرکرد- بروجن طول کل: ۲۷۳/۶۵ کیلومتر Shahrekord-Borujen Total length: 273.65 km		منطقه Region
نسبت Proportion	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	نسبت Proportion	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	نسبت Proportion	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	محدوده حائل (متر) Buffer (m)
0.05	18.96	0.05	1.09	0.16	45.56	12.5
0.06	22.31	0.08	1.89	0.19	51.24	100
0.08	29.07	0.12	2.65	0.24	64.53	200
0.11	40.98	0.20	4.53	0.41	111.65	300
0.52	187.29	0.34	7.63	0.51	140.31	400
0.59	212.44	0.44	9.92	0.59	1611.62	500
0.64	229.79	0.50	11.33	0.65	176.87	600

ادامه جدول ۷-

Continue Table 7.

منطقه Region	شهرکرد- بروجن طول کل: ۲۷۳/٦٥ کیلومتر Shahrekord-Borujen Total length: 273.65 km		جونقان طول کل: ۲۲/٦۱ کیلومتر Juneghan Total length: 22.61 km		فریدن طول کل: ۳٦۰/٤۷ کیلومتر Fereydan Total length: 360.47 km	
محدوده حائل (متر) Buffer (m)	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	نسبت Proportion	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	نسبت Proportion	طول خطوط میانی (کیلومتر) Length within (km)	نسبت Proportion
700	198.26	0.72	12.97	0.57	243.11	0.68
800	223.48	0.82	14.07	0.62	259.12	0.72
900	252.80	0.92	15.39	0.68	279.33	0.78
1000			17.04	0.75	309.18	0.86
1100			18.07	0.80	326.34	0.91
1200			19.16	0.85		
1300			20.63	0.91		



شکل ۳- نمایش چگونگی تغییر نقشه خاک طول قرار گرفته بین محدوده بین خطوط توپوگرافی (با ارتفاع ۱۰۰ متر) با تغییر اندازه منطقه حایل برای قسمت کوچکی از منطقه مطالعاتی شهرکرد-بروجن. تصویر ۱ بدون در نظر گرفتن منطقه حایل و تصویرهای ۲ تا ۸ بیانگر تغییر در میزان منطقه حایل به‌میزان ۱۲/۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰، ۵۰۰ و ٦۰۰ متری می‌باشند. خطوط توپر بیانگر خطوط توپوگرافی، خط نقطه چین قرار گرفته بین خطوط توپوگرافی بیانگر قسمتی از نقشه خاک و محدوده خاکستری بیانگر محدوده حایل اطراف خطوط توپوگرافی می‌باشند.

Figure 3. Illustration of changes of soil map length between topographic line (100m) in a small part of Shahrekord-Borujen are. Picture 1 shows the area and lines without considering topographic line buffers, while the buffering has been considered 12.5, 100, 200, 300, 400, 500, and 600m, respectively from picture 2 to picture 8. The soil lines show topographic lines, the dashed line located between them shows a part of soil map, and the gray area shows the buffer around topographic lines.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی‌های انجام‌شده برای یافتن مطالعات موروثی خاک منطقه‌ای واقع در شرق زاگرس (در مرز بین استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری) با مساحت ۱۰۴۸۰ کیلومتر مربع منجر به یافتن مطالعات موروثی زیادی در منطقه شد (دیرینه‌شناسی). عدم دسترسی به مجموعه کامل تمام مطالعات در اثر تخریب آن‌ها و یا عدم تهیه در زمان مطالعه ما را بررسی سه مطالعه موروثی با اطلاعات جامع شامل گزارش‌های خاک‌شناسی، اطلاعات نیمرخی و نقشه‌های خاک سوق داد. داده‌ها و اطلاعات انتخاب شده به خوبی در رایانه ذخیره شدند تا از خطر نابودی در امان باشند (احیا داده‌های موروثی). کیفیت خوب نقشه‌های موروثی منجر به زمین مرجع نقشه‌ها با دقت خوب در سیستم مختصات متریک (UTM) شد. بررسی اطلاعات نقشه‌های موروثی طبق معیارهای کنترل کیفیت کرنل و راهنمای نقشه نشان داد مقیاس نقشه‌ها از مقیاس ذکر شده روی نقشه بزرگ‌تر می‌باشند و راهنمای نقشه‌ها به‌طور کافی اطلاعات لازم در مورد هر واحد نقشه را در بر دارند. هم‌چنین نشان داده شد که واحدهای نقشه از صحت مکانی خوبی برخوردار می‌باشند. هم‌چنین نتایج ارزیابی کمی نیز بیانگر دقت خوب نقشه‌ها می‌باشند به‌طوری‌که در تمام مطالعات و هم‌چنین مجموع آن‌ها، صحت کلی نقشه در تمام سطوح طبقه‌بندی بیش‌تر از ۷۰٪ و تائو بیش‌تر از ۵۰٪ می‌باشند که نشان می‌دهند. لازم به توجه است که مراحل و بررسی‌های انجام شده بر روی این داده‌های موروثی تنها به‌عنوان پیش پردازش‌هایی برای آماده‌سازی این اطلاعات ارزشمند برای ورود به پروژه‌های بزرگ بعدی از جمله تکنیک‌های نقشه‌برداری رقومی و تحلیل و بررسی آن‌ها می‌باشد. به‌طورکلی ارزیابی‌ها نشان داد نقشه‌های موروثی از دقت خوبی برخوردار می‌باشند و بدون نیاز به، به‌روزگردانی و یا انجام نمونه‌برداری‌های جدید مورد استفاده قرار بگیرند. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای اطمینان از کیفیت نقشه‌های موروثی در سایر نقاط ایران، کیفیت آن‌ها با توجه به معیارهای استاندارد مورد ارزیابی قرار بگیرند. این ارزیابی‌ها به کارشناسان خاک‌شناسی کمک خواهد کرد که با استفاده از داده‌های موجود و آرشیوی خاک بر مشکل هزینه‌های زیاد مطالعات خاک فایق آیند. همچنین حفظ و استفاده مجدد آن‌ها به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در زمینه حل چالش‌های پیش روی تغییر اقلیم و تخریب پیش‌رونده منابع طبیعی کمک خواهد کرد.

منابع

1. Balkovic, J., Rampasekova, Z., Hutar, V., Sobocka, J., and Skalsky, R. 2013. Digital soil mapping from conventional field soil observations. Soil and Water Research. 8: 1. 13-25.
2. Cambule, A.H., Rossiter, D.G., Stoorvogel, J.J., and Smaling, E.M.A. 2015. Rescue and renewal of legacy soil resource inventories: A case study of the Limpopo National Park, Mozambique. Catena. 125: 169-182.
3. Dewitte, O., Jones, A., Spaargaren, O., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., et al. 2013. Harmonisation of the soil map of Africa at the continental scale. Geoderma. 211-212. 138-153.
4. Farshad, A., Mohammadi, M., Masihabadi, M.H., Farzaneh, A., 2015. Geopedology: Application of RS and GIS in soils studies. Published by Soil and Water Research Institute, 313p. (In Persian)
5. Forbes, T., Rossiter, D., and van Wambeke, A. 1987. Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories. (SMSS: Technical Monograph: Soil management support services; Vol. 4). Ithaca; Washington, D.C.:

Cornell University, Department of Agronomy, New York State College of Agriculture and Life Sciences; U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Soil Management Support Service (SMSS).
6. Forbes, T.R., Rossiter, D.G., and VanWambeke, A. 1982. Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories. Other. Soil Management Support Services, Ithaca, New York, USA. 56p.
7. Goodchild, M.F., and Hunter, G.J. 1997. A simple positional accuracy measure for linear features. Inter. J. Geograph. Inf. Sci. 11: 299-306.
8. Hughes, M.L., McDowell, P.F., and Marcus, W.A. 2006. Accuracy assessment of georectified aerial photographs: implications for measuring lateral channel movement in a GIS. Geomorphology. 74: 1-16.
9. Iliffe, J., and Lott, R. 2008. Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS, and Surveying. Whittles Pub., CRC Press. Scotland, UK, 250p.
10. Keesstra, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerda, A., et al. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the united nations sustainable development goals. Soil. 2: 111-128.
11. Kempen, B., Brus, D.J., Stoorvogel, J.J., Heuvelink, J.B.M., and de Vries, F. 2012. Efficiency Comparison of Conventional and Digital Soil Mapping for Updating Soil Maps. Soil Sci. Soc. Amer. J. 76: 2097-2115.
12. Leenaars, J.G.B., Kempen, B., van Oostrum, A.J.M., and Batjes, N.H. 2014. Africa soil profiles database: A compilation of georeferenced and standardised legacy soil profile data for Sub-Saharan Africa. P 51-57. In: D. Arrouays (ed.) Global Soil Map basis of the global spatial soil information system. Taylor & Francis, London.
13. Li, W., Zhang, C., Dey, D.K., Dipak, K., and Willig, M.R. 2013. Updating Categorical Soil Maps Using Limited Survey Data by Bayesian Markov Chain Cosimulation. Sci. World J. 587284.
14. Mahler, P.J. 1970. Manual of Multipurpose Land Classification. Report no. 212. Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran,
15. Mayr, T., Rivas-Casado, M., Bellamy, P., Palmer, R., Zawadzka, J., and Corstanje, R. 2010. Two methods for using legacy data in digital soil mapping. P 191-202. In: J.L. Boettinger (ed.) Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation. Springer, Dordrecht.
16. McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M.L., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma. 117: 3-52.
17. Mohammadi, J. 2010. Pedomining. Vol. 3. postmodern statistics. Pelk Press, 594p. (In Persian)
18. Pahlavan-Rad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B., and Bogaert, P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma. 232-234. 97-106.
19. Pahlavan-Rad, M.R., Khormali, F., Toomanian, N., Brungard, C.W., Kiani, F., Komaki, C.B., and Bogaert, P. 2016. Legacy soil maps as a covariate in digital soil mapping: A case study from Northern Iran. Geoderma. 279: 141-148.
20. Rossiter, D.G. 2001. Assessing the thematic accuracy of area-class soil maps. Soil Science Division, ITC. Enschede Netherlands, 46p.
21. Rossiter, D.G. 2004. Technical note: Statistical methods for accuracy assessment of classified thematic maps, Enschede, the Netherlands, 43p.
22. Rossiter, D.G. 2008. Digital soil mapping as a component of data renewal for areas with sparse soil data infrastructures. P 69-80. In: A.E. Hartemink (ed.) Digital soil mapping with limited data. Springer, Dordrecht.
23. Rossiter, D.G., Zeng, R., and Zhang, G.L. 2017. Accounting for taxonomic distance in accuracy assessment of soil class predictions. Geoderma. 292: 118-127.

24. Sarmento, E.C., Giasson, E., Weber, E.J., Flores, C.A., Rossiter, D.G., and Hasenack, H. 2014. Characterization of legacy soil maps: use of indicators in maps at different cales in Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 38: 1672-1680.
25. Soil and Water Research Institute of Iran. 1968. Semi-detailed soil survey of some parts of Shahrekord area. No. 119. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
26. Soil and Water Research Institute of Iran. 1970a. Semi-detailed soil survey of Avargan region (Borujen). No. 135. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
27. Soil and Water Research Institute of Iran. 1970b. Semi-detailed soil survey of Dezak region of Shahrekord. No. 136. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
28. Soil and Water Research Institute of Iran. 1977a. Semi-detailed and reconnaissance soil survey of different parts of Chaharmahal-va-Bakhtiari province (around Borujen). Iranian Soil and Water Research Institute, No. 543. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
29. Soil and Water Research Institute of Iran. 1977b. Semi-detailed soil survey of Agriculture and animal college of Shahrekord. No. 551. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
30. Soil and Water Research Institute of Iran. 1984. Semi-detailed soil survey and land classification research centers of Isfahan and Chaharmahal-va-Bakhtiari provinces (Golpaygan, Borujen, Braan, Shahrekord). No. 813. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
31. Soil and Water Research Institute of Iran. 1986a. Semi-detailed soil survey of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekord and Borujen area). No. 696. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
32. Soil and Water Research Institute of Iran. 1986b. Semi-detailed soil survey of Juneghan region, Chaharmahal-va-Bakhtiari province. No. 701. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
33. Soil and Water Research Institute of Iran. 1992. Reconnaissance semi-detailed soil survey and land classification of Fereydan region. No. 855. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
34. Soil and Water Research Institute of Iran, 1999. Correlation study of soils in central arid south of Iran, Vol. 2: East of Zagros region (Fereydan, Chaharmahal-va-Bakhtiari and Semirom). No, 1062. Soil and Water Research Institute of Iran, Ministry of Agricultures, Tehran, Iran. (In Persian)
35. Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agricultural Handbook No. 436.
36. Soil Survey Staff. 1985. Keys to soil taxonomy for the management support service. 2nd edition. Agronomy department of Cornell university. Washington DC.
37. Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. 12th edition. USDA Natural Resources Conservation Service.
38. Sulaeman, Y., Minasny, B., McBratney, A.B., Sarwani, M., and Sutandi, A. 2013. Harmonizing legacy soil data for digital soil mapping in Indonesia. Geoderma. 192: 77-85.
39. Waltner, I., Michéli, E., Fuchs, M., Láng, V., Pásztor, L., Bakacsi, Z., Laborczi, A., and Szabo, J. 2014. Digital mapping of selected WRB units based on vast and diverse legacy data. P 313-318. In: D. Arrouays (ed.) GlobalSoilMap basis of the global spatial soil information system. Taylor & Francis, London.

40. Yang, L., Jiao, Y., Fahmy, S., Zhu, A.X., Hann, S., Burt, J.E., and Qi, F. 2011. Updating Conventional Soil Maps through Digital Soil Mapping. Soil Sci. Soc. Amer. J. 75: 1044-1053.
41. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Brungard, C.W., and Finke, P. 2019. Disaggregating and updating a legacy soil map using DSMART, fuzzy cmeans and k-means clustering algorithms in Central Iran. Geoderma. 340: 249-258.
42. Zhu, A.X., Hudson, B., Burt, J.E., Lubich, K., and Simonson, D. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65: 1463-1472.
43. Zinck, J.A. 2016. The Geopedologic Approach. P 27-59. In: J.A. Zinck (ed.) Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies. Springer, Switzerland.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(4), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Rescue and renewal of legacy soil inventories, a case study: semi-detailed soil surveys in some parts of Isfahan and Chaharmahal-va-Bakhtiari provinces

***Z. Rasaei[1], J. Mohammadi[2], A.M. Mehnatkesh[3] and Sh. Fatehi[4]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord, [2]Professor, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord, [3]Research Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Chaharmahal-va-Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran, [4]Research Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran

Received: 04.20.2019; Accepted: 09.24.2019

Abstract

Background and Objectives: Soils play an important role in environmental issues and sustainable management and development programs. Then there is a growing need for the preparation of soil maps with high reliability and accuracy. Taking into account the decreasing the chance of conducting new soil surveys due to the limitation of resources, legacy soil data have been receiving a great deal of attention. These data, which carry important information about the state and properties of soil over time and place, can create a perspective for better management of different resources. Considering these issues and also the dependence of better soil management on this legacy information and the importance of using it in environmental management, serious efforts should be made to maintain and reuse these legacy soil data. Then performing some preprocesses in order to maintain and renew this information is obviously necessary, in which rescue and renewal of soil legacy inventories are the most important ones. These preprocess have to be performed before any reusing of them. In spite of global efforts in this regard, no important effort has been made to renew this valuable information so far. However, it has a good history of soil science and is full of legacy soil information inherited from pioneer soil scientists. Therefore, this study aims at rescue, renewal and evaluate available legacy soil surveys as prerequisite processes for reusing them in the framework of digital mapping.

Materials and Methods: The 10480 km^2 study area is located in the border of Isfahan and Chaharmahal-va-Bakhtiari provinces. Due to the existence of Zayandehrud river in this region, it has been surveyed a lot so far. However, because of the lack of access to all these studies, three legacy soil studies covering the whole study area were selected and examined. After recording of the information of these studies in computer and georeferencing the maps, the boundaries of soil map units were digitized. The quality of the maps was afterward evaluated according to the Cornell adequacy criteria. The spatial accuracy of soil map units was then checked and their probable dislocation was finally corrected using available axillary maps and information. Also, the weighted Tau index and overall accuracy were calculated to quantitatively evaluate the quality of the maps.

Results: The information of selected legacy soil maps and profile was successfully recorded in computer in order to keep them from destruction, and a table filled with the information of their soil profiles. The results indicate that the georeferencing of soil maps was done with relatively good quality. The results of quality and efficiency of soil map units' assessment showed that the map scale is larger than the scale provided on the maps, however, the map legends provide

* Corresponding Author; Email: zahra.rasaei@gmail.com

enough information to the users of the map. The investigation of the boundary displacement of the map units showed that the maps had a high-level of spatial accuracy. The results of statistical evaluation of soil map units' accuracy showed that in all studies as well as their total, the weighted overall accuracy and Tau index of the map at all levels of classification is more than 70% and 50%, respectively, which indicates a good accuracy of the maps.

Conclusion: Despite the public belief about the quality of legacy soil maps, the results of this study indicate well that the studied legacy soil maps have a good quality in terms of their general characteristics. It is also proved that the legacy information and maps can be used with a good degree of confidence in the digital mapping process. Thus, the cost of new soil studies can be saved using this legacy information.

Keywords: Conventional soil mapping, Cornell adequacy criteria, Legacy soil inventories, Weighted overall accuracy, Weighted Tau index